

# 도시철도 역사 냉방 시스템 가동에 따른 대합실 및 승강장에서의 온도 분포 연구

## Study on the Temperature Distribution in the Subway Station According to the Operation of the Air Conditioner

장용준\*<sup>†</sup>, 류지민\*, 정호성, 김형철

Yong-Jun Jang\*<sup>†</sup>, Ji-Min Ryu\*, Hosung Jung, Hyung-Chul Kim

**Abstract** The various R&D projects regarding the high efficiency of energy in the subway station are going on. The percentage of electricity consumption for air conditioner in the subway station is more than 65%. In this study, the temperature distribution in the lobby and platform of subway station is investigated under the condition of operating of air conditioning. Shingumho station(The line # 5, Depth: 46m) has been selected as a simulation model. The ventilation mode is ordinary state and the cool air of 47,316m<sup>3</sup>/h is supplied and the returned air of 33,980m<sup>3</sup>/h is exhausted in the lobby and the cool air of 33,968m<sup>3</sup>/h is supplied and the returned air of 76,190m<sup>3</sup>/h is exhausted in the platform. The temperature of cool supplied air in the diffusers is 10°C. The numbers of ventilation diffuser are 94 and 222 in the lobby and in the platform, respectively. Total of 7.5 million grids were generated for this simulation. In order to enhance the efficiency of calculation, parallel processing by MPI was employed and Large Eddy Simulation method was adopted.

**Keywords** : Underground subway station, Air Conditioner , LES, MPI

**초 록** 도시철도 역사 에너지 절감을 위하여 다양한 R&D가 진행되고 있다. 도시철도 역사 전력 에너지 소모 중 공조 및 냉방 비율이 65% 이상을 차지하고 있다. 본 연구에서는 대규모 역사에서 냉방 시스템 가동에 따른 대합실 및 승강장에서의 온도 분포에 관하여 시뮬레이션 기법을 이용하여 조사하였다. 대상 역사는 서울 5호선 신금호 역사(심도 46m)를 대상으로 하였다. 환기 운전 모드는 평상시 운전 모드로 하였으며 대합실에서는 냉방급기 47,316m<sup>3</sup>/h, 배기 33,980m<sup>3</sup>/h로, 승강장에서는 냉방급기 33,968m<sup>3</sup>/h, 배기 76,190m<sup>3</sup>/h로 현장의 풍량을 반영하였다. 냉방 급기 디퓨저에서의 온도는 10도이며, 대합실에서는 94개, 승강장에서는 222개의 디퓨저가 사용되었다. 총 750만개의 셀이 사용되었으며, MPI를 이용하여 병렬 계산을 수행하였다. LES 기법을 이용하여 운동량방정식 및 에너지 방정식을 계산하였다.

**주요어** : 도시철도 역사, 냉방 급기, LES(large eddy simulation), MPI 병렬처리방법

### 1. 서론

최근의 원자력 발전소의 가동 중단 사태 등의 이유로 도시철도 역사에서도 에너지 절감을 위한 다양한 국가 R&D가 진행되고 있다. 도시철도 역사에서 전력 소모량 중 공조 및 냉난방이 65% 이상을 차지하고 있으며, 이에 대한 절감을 위하여 지열, 지하유출수, 태양광 발전

† 교신저자: 한국철도기술연구원 에코시스템 연구실(jangyj@krri.ke.kr)

\* 한국철도기술연구원 에코시스템 연구실

기술 등이 연구 되고 있다.

도시철도 역사에서 공조 및 냉방 에너지 효율 향상 연구를 위하여 장용준 등[1]은 대심도 역사에서 정확한 공조 용량을 계측하였다. 장용준 등[2]은 지하역사에서 평상시 및 비상시 공조 상황에서 공조 풍량을 LES 기법을 이용하여 해석하였으며 실험 결과와 비교하여 분석하였다.

본 연구에서는 5호선 신금호 역사(총 지하8층)를 대상으로 지하역사 전체에 냉방기를 가동할 경우 대합실 및 지하 승강장에서의 냉방 기류의 흐름을 해석하였다. 공조 운전 모드는 평상시로 하였으며, 스크린 도어는 닫힌 것으로 가정하였다. 대합실, 계단 및 승강장 주요 지점에서 냉방기 가동 후 시간에 따른 온도의 변화를 수치해법을 활용하여 조사하였다. 수치해법을 위하여 FDS code의 Large Eddy Simulation(LES) 기법을 활용하였으며 Linux cluster 및 MPI 기능을 이용하여 병렬 계산을 수행하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 수치해석조건 및 역사 모델링

역사 모델로는 Fig 1, 2와 같이 신금호 역사를 대상으로 하여 수치해석을 수행하였다. 신금호 역사는 총 지하8층으로 구성되어 있으며, 지상으로 3개의 출입구가 연결되어있다. 각층은 계단과 에스컬레이터 및 엘리베이터로 연결되고 있다.

신금호 역사의 환기기 운전모드는 평상시 급/배기 운전모드와 승강장 화재발생시 운전모드, 대합실 화재발생시 운전모드로 운영된다.

본 연구에서는 평상시 대합실 및 승강장에서 Table 1 및 Fig 3 [1]에서처럼 급기 및 배기가 조화를 이루고 있다는 조건하에서 냉방 유동 시뮬레이션을 수행하였다. 승강장의 PSD의 출입구는 모두 닫혀있는 것으로 가정하였다.

Table 1 Ventilation rate in lobby and platform [1]

구분		풍량(m <sup>3</sup> /h)	
		Supply Air	Return / Exhaustion
평상시 모드	대합실	47,316	-33,980
	승강장	33,968	-76,190

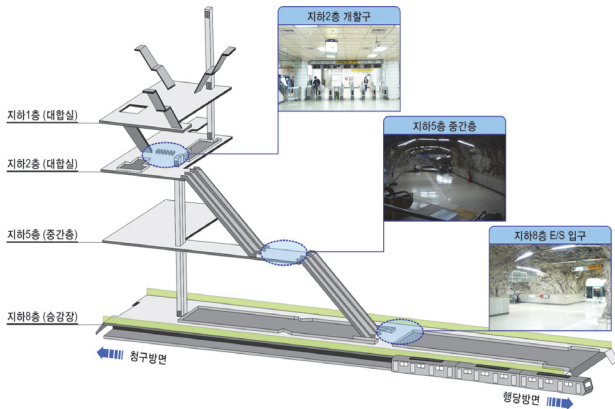


Fig. 1 Schematic diagram of Shingumho subway station

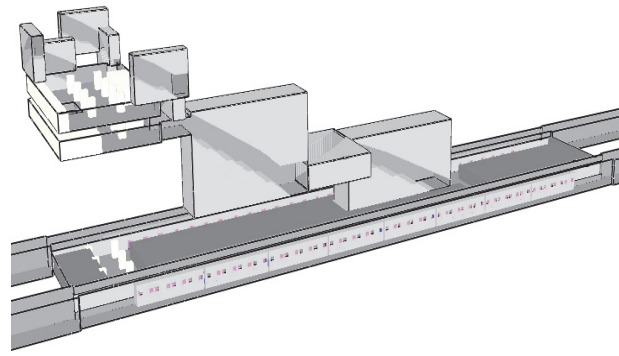


Fig. 2 Grid modeling for Shingumho subway station

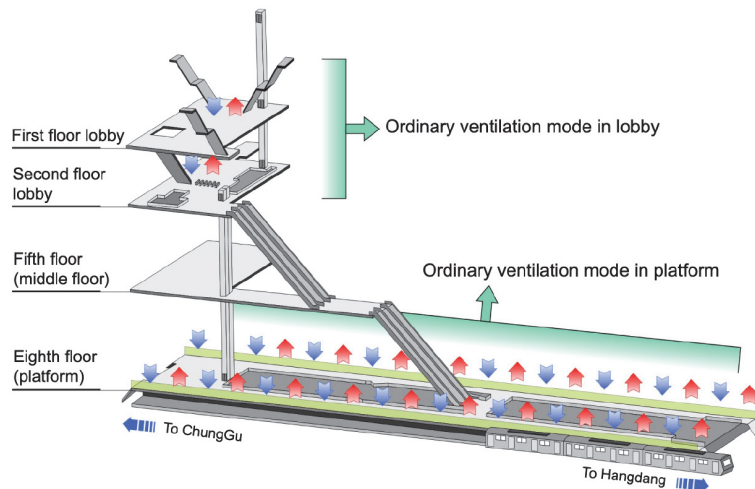


Fig.3 Ventilation fan mode in platform – Ordinary state

## 2.2 수치해석 기법 및 해석 Code

본 연구에서 수치해석을 위한 Code로 NIST에서 개발한 FDS를 사용하여 연구를 수행하였다. FDS는 LES(Large Eddy Simulation) 기법을 이용하여 난류를 해석한다. 본 연구와 같이 복잡한 유동이 존재하는 영역에서 상당히 정확한 해석결과를 보이며, 역사 냉방 유동 또는 화재유동과 같은 저속유동 해석에 강점을 보인다. 수치해석을 위한 격자의 크기는 장용준 등 [3]의 방법에 의하여 결정하였다. 총 격자 수는 약 750 만개이다. 해석의 효율을 높이기 위해 총 22개의 해석영역(blocks)으로 나누고 각각의 block에서 독립적으로 계산후 MPI 기능을 이용하여 각각의 계산 결과를 이웃하는 block과 교환하였다. 사용된 OS는 LINUX이며, 사용된 CPU는 Intel 3.0 GHz Dual Core CPU 10개를 사용하였다.

유동의 경계조건으로는 외기의 온도는 35℃, 대합실 및 승강장에서 디퓨저 냉방 급기는 10℃로 주어졌으며, 전체 벽에서는 Werner-Wengle wall law[2]를 적용하였다.

본 연구에서는 난류계산을 위해 다음과 같이 Navier-Stokes eq.을 필터링 하여 해석한다.[4,5]

$$\frac{D\bar{u}_i}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{D\bar{P}}{Dx_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \nu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \tau_{ij} \right\} \quad (1)$$

$$\tau_{ij} = \overline{u_i u_j} - \bar{u}_i \bar{u}_j \quad (2)$$

여기서  $\tau_{ij}$ 는 sub-grid scale(SGS) stress이다.

$$\tau_{ij} = \frac{1}{3} \delta_{ij} \tau_{kk} - 2\nu_t \bar{S}_{ij} \quad (3)$$

$$\bar{S}_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

여기서  $\nu_t$ 는 모델링이 되어야 하며 FDS에서는 다음과 같은 일반적인 Smagorinsky model을 사용하고 있다.

$$\nu_t = (C_s \bar{\Delta})^2 |\bar{S}| \quad (5)$$

여기서,

$$|\bar{S}| = (2\bar{S}_{ij}\bar{S}_{ij})^{1/2} \quad (6)$$

$$\bar{\Delta} = (\Delta x \Delta y \Delta z)^{1/3} \quad (7)$$

그리고 FDS의 default 조건으로  $C_s=0.2$ 를 사용하였다.

## 2.3 수치해석 결과 및 고찰

Fig 4는 대합실에서 냉방 장치를 가동 후 약1,000초가 지난 후 중간 높이에서의 온도 분포이다. 외부 계단 근처에서는 유입되는 외기로 인하여 높은 온도를 보이고 있으며, 외부 계단으로부터 멀어질수록 낮은 온도 분포를 보이고 있다. 흥미로운 부분은 대합실 지하 2층으로 내려가는 계단 부분은 고온의 온도 분포를 보이고 있는데, 이는 대합실 1층 상층부의 더운 공기가 계단 공간을 통하여 아래층으로 이동하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 대합실 2층에서는 전체적으로 대합실 1층 보다 낮은 온도 분포를 보이고 있으며, 1층으로부터 내려오는 계단 영역에서는 상대적으로 높은 온도 분포를 보이고 있다. Fig 5는 승강장에서의 전체 온도 분포를 보이고 있다. 대합실과 마찬가지로 냉방 장치 가동 후 1,000초가 지나서 이다. 대합실로부터 내려오는 통로 입구 부분에서는 높은 온도 분포를 보이고 있는 반면 승강장 양단 끝 쪽에서는 낮은 온도 분포를 보이고 있다. 온도 차가 약 6°C 정도를 보이고 있다. 본 시뮬레이션은 인체의 온도는 고려하지 않은 결과 인데 인체의 온도를 고려한다면 승객들이 많이 분포가 예상되는 승강장 중앙 부분과 승강장 양 끝단의 온도 차는 더욱 클 것으로 판단되며, 이에 대한 적절한

한 온도 조절 대책이 필요하다고 보인다. Fig 6는 대합실 및 승강장에서 등온도(Iso-temperature) 분포를 보이고 있다. 대합실에서는 22℃에서, 승강장에서는 그보다 높은 26℃에서의 등 온도 분포를 보이고 있다. 급기구에서의 냉방 기류의 형태가 잘 나타나고 있으며, 대합실 지하 2층에서는 상대적으로 낮은 온도가 분포하고 있는 것으로 조사되었다. Fig 7는 대합실 및 승강장에서 시간의 경과에 따른 온도 분포를 보여주고 있다. 일반적으로 시간의 경과에 따라 각 부분에서 온도가 하강하고 있는 것이 보인다. 800초 이후로는 온도에 큰 변화가 없으므로, 냉방 가동 이후 약14분 이후로는 역사 전체가 정상 상태(냉방으로 인한 온도 하강이 더 이상 없는 상태)에 이르는 것으로 판단된다. 역사 전체에서 대합실 지하 2층이 가장 낮은 온도를 기록하고 있다.

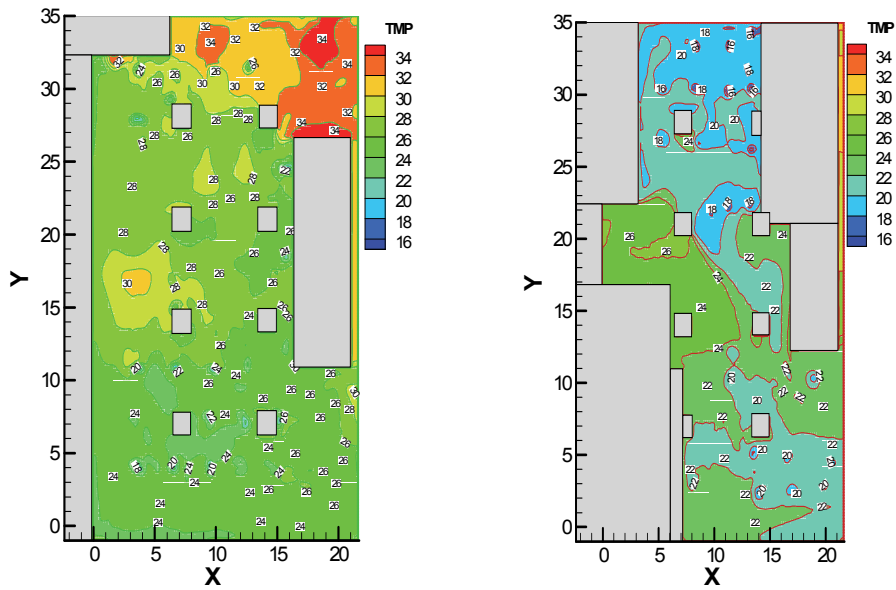


Fig.4 Temperature distribution in the lobby (middle height) (left: 1<sup>st</sup> floor, right: 2<sup>nd</sup> floor)

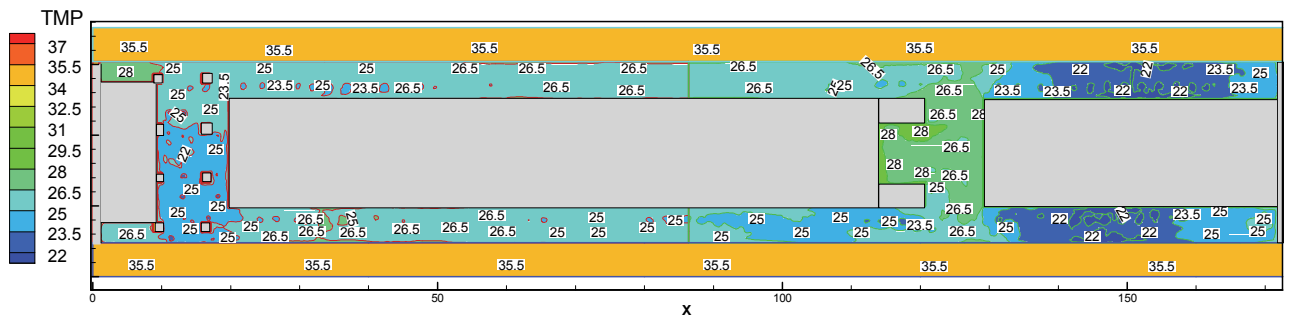


Fig.5 Temperature distribution in the platform (middle height)

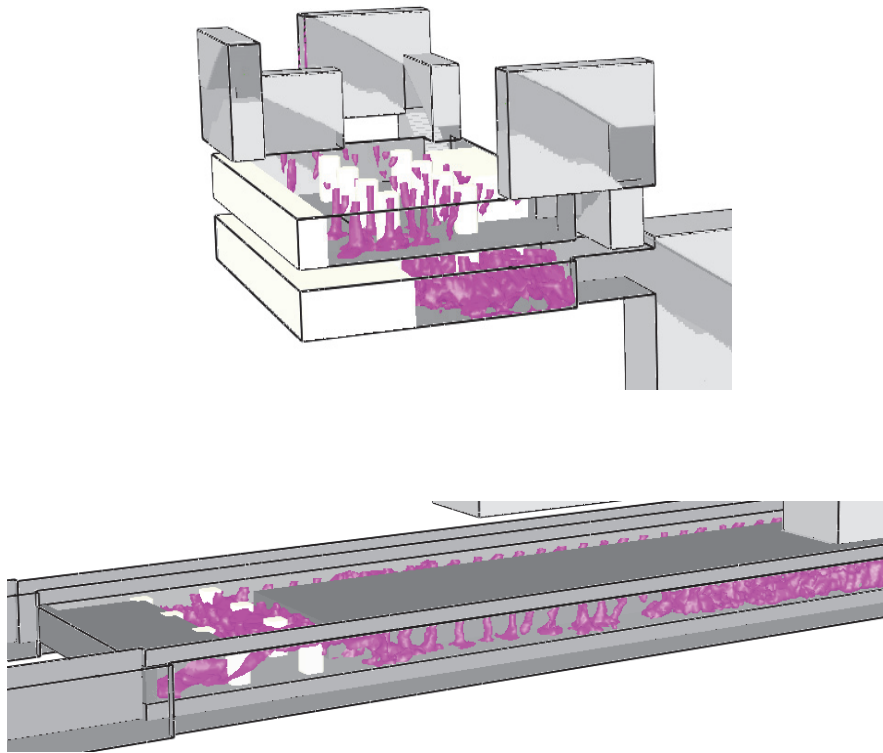


Fig.6 Iso-surface of temperature (Up: lobby - 22°C, Down: platform - 26°C)

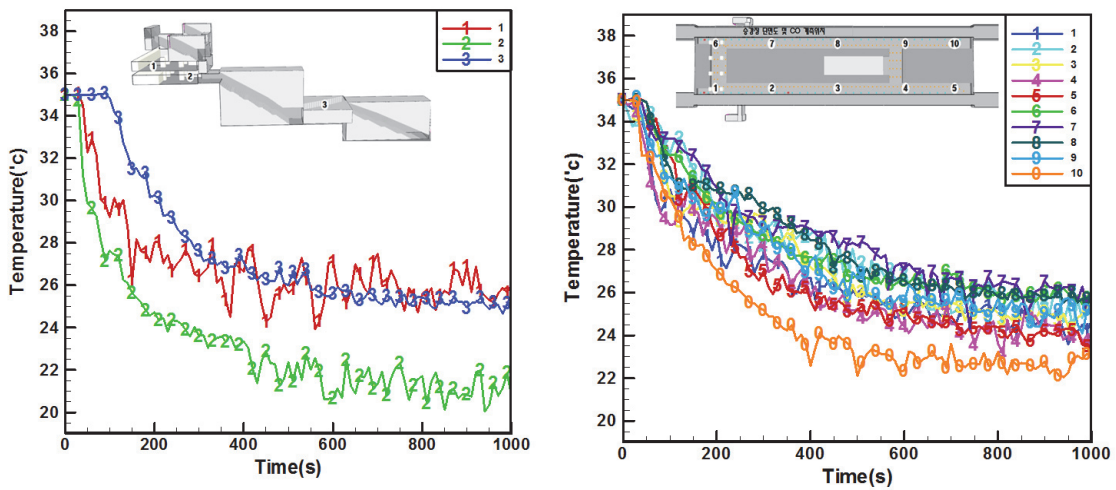


Fig.7 Temperature distribution with increasing time (left: lobby, right: platform)

### 3. 결론

신금호 역사 전체를 대상으로 대합실 및 승강장에서의 냉방 기류의 흐름에 대하여 조사하였다. 공조 운전 모드는 평상시를 기준으로 조사하였으며, 스크린 도어는 닫힌 것으로 가정하였다. 대합실 및 승강장 주요 지점에서 냉방기 가동 후 시간의 경과에 따라 온도의 변화

를 수치해법을 이용하여 조사하였다. FDS 코드의 LES 기법을 이용하였으며, Linux cluster 및 MPI 기능을 이용하여 병렬 계산을 수행하였다. 시간의 경과에 따라 냉방기 가동 후 역사 각 지점에서 온도가 하강하였으며 14분 이후에는 온도의 변화가 미미한 것으로 조사 되었다. 또한 전체 역사에서 대합실 2층이 가장 낮은 온도 분포를 보이고 있으며 승강장에서는 양단 끝 부분이 상대적으로 낮은 온도를 보였다.

### 참고문헌

- [1] 장용준, 이호석, 박덕신(2012) 대심도 지하역사승강장 및 대합실 평상시/비상시 급·배기 풍량에 대한 실험적 연구, *한국철도학회논문집* Vol.15, NO.6, pp. 579~587, 2012.
- [2] 장용준, 류지민, 박덕신(2013) 지하역사 승강장 및 대합실 평상시/비상시 급/배기 환기 Large Eddy Simulation, *한국전산유체공학회* Vol.18, NO.3, pp. 72~78, 2013.
- [3] 장용준, 류지민(2013) 대심도 역사 승강장 화재 시 승강장 환기 운전 모드에 대한 고찰, *한국철도학회 춘계학술대회 논문집*, 2013.
- [4] Mcgrattan, K. B., Klein, B., Hostikka, S., Floyd, J. (2007) Fire Dynamics Simulator Version 5 User's Guide, NIST Special Publication 1019-5, pp.31,
- [5] Mcgrattan, K. B., Baum, H.R., Rehm, R.G.(1998) Large eddy simulation of smoke movement, *Fire Safety Journal* 30 (2), pp. 161-178.